Journal of Plant Protection
Vol. 35, No. 2, Summer 2021, P. 169-183

نشریه حفاظت گیاهان (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، ص. ۱۸۳-۱۶۹

مقاله پژوهشی

بررسی ویژگی‌های ژرم پلاسم گندم دیم جهت مقاومت به بیماری زنگ زرد در اردبیل

صفرعلی صفوی[1*]- فرزاد افشاری[2]- مقصود حسنپور حسنی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۱۵

چکیده

زنگ زرد با عامل *P. striiformis* f. sp. *tritici* یکی از مهم‌ترین بیماری‌های برگی گندم است که کاهش عملکرد قابل توجهی را در نواحی گندم خیز سراسر جهان موجب می‌شود. در ایران نیز در سال‌های همه‌گیری، بیماری زنگ زرد یکی از عوامل مهم کاهش عملکرد گندم به شمار می‌رود. مطالعه حاضر به منظور تعیین منابع مقاومت ژنتیکی نسبت به زنگ زرد انجام شده است، تا برنامه به‌نژادی برای آزادسازی رقم با موفقیت بیشتری انجام شود. ژرم پلاسم گندم دیم شامل ۱۹۱ لاین پیشرفته و امیدبخش (شامل گندم نان زمستانه، بهاره و گندم دوروم) تحت شرایط مزرعه‌ای در ایستگاه تحقیقات کشاورزی آلاروق اردبیل طی سال زراعی 95-1394 ارزیابی شدند. در ارزیابی‌های مزرعه‌ای برای مقایسه لاین‌ها از مقادیر نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC) استفاده شد. همان تعداد ژرم پلاسم، در مرحله گیاهچه‌ای نیز برای پاتوتیپ‌های $6E158A^+$ و $6E150A^+$, Yr27 در شرایط گلخانه مورد بررسی قرار گرفتند. هر دو تیپ مقاومت مرحله گیاهچه و گیاه بالغ در بین لاین‌های مورد بررسی شناسائی شدند. واکنش گیاهچه‌ای نشان داد که تعداد ۳۴ لاین (۱۸٪) دارای مقاومت گیاهچه‌ای نسبت به هر دو پاتوتیپ و با احتمال وجود ژن/ژن‌های مقاومت *Yr3v*، *Yr3a*، *Yr4a*، *Yr4*، *Yr5*، *Yr10*، *Yr15*، *Yr16*، *YrCV* و *YrSD* می‌باشند. تعداد ۲۳ ژنوتیپ در مرحله گیاهچه‌ای در برابر حداقل یک پاتوتیپ حساس بوده و در مرحله گیاه بالغ واکنش مقاومت با مقادیر پایین rAUDPC (0-10) نشان دادند و به عنوان ارقام دارای مقاومت گیاه بالغ (APR) انتخاب شدند. همچنین تعداد ۲۷ ژنوتیپ در مرحله گیاه بالغ مقادیر متوسط rAUDPC (11-30) و در مرحله گیاهچه‌ای در برابر حداقل یک پاتوتیپ حساس بودند و به عنوان گروه دارای مقاومت تدریجی (SR) انتخاب شدند. بقیه ژنوتیپ‌ها دارای مقادیر بالای rAUDPC و یا بدون مقاومت گیاهچه‌ای بودند. منابع ژنتیکی امیدبخش برای تجمیع هر دو تیپ مقاومت جهت دستیابی به مقاومت پایدار و کنترل پایدار علیه زنگ زرد در ایران استفاده خواهند شد.

واژه‌های کلیدی: زنگ نواری، گندم دیم، مقاومت پایدار، مقاومت گیاهچه‌ای، rAUDPC

مقدمه

زنگ زرد یا زنگ نواری با عامل *Puccinia striiformis* Westend. f. sp. *tritici* Eriksson یکی از مهم‌ترین بیماری‌های برگی گندم به شمار می‌رود. این بیماری در نواحی معتدل، خنک و مرتفع گزارش شده است (۶). بیماری زنگ زرد در تمام قاره‌ها بجز نواحی قطب جنوب دیده می‌شود. دامنه گسترش وسیع این بیماری در سراسر جهان، همواره تولید گندم را تهدید کرده و کاهش عملکرد ناشی از بیماری به طور متوسط بین ۷۰-۱۰٪ گزارش شده است، اما در همه‌گیری‌های شدید، خسارت تا ۱۰۰٪ نیز می‌رسد (۱۰).

عوامل زنگ‌های گندم به راحتی بین قاره‌ها جا به جا می‌شوند (۱۷). سازگاری بالای عوامل زنگ‌ها به تغییرات شرایط آب و هوایی موجب گردیده تا زنگ‌ها در بیشتر نقاط جهان، خود را با شرایط آن‌ها وفق دهند. چنین خصوصیاتی شامل جهش، مهاجرت، هیبریداسیون رویشی و جنسی می‌باشد (۱۶ و ۱۷). اگرچه تمام زنگ‌ها، شامل زنگ قهوه‌ای، زنگ ساقه و زنگ زرد از لحاظ اقتصادی از عوامل

۱- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
(*-نویسنده مسئول: Email: Safaralisafavi@yahoo.com)
۲- استاد پژوهش، بخش تحقیقات غلات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳- مربی، بخش تحقیقات غلات، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران

DOI: 10.22067/jpp.2021.32761.0

بیماری‌های مهم غلات می‌باشند، اما میزان خسارت آن‌ها براساس کاهش عملکرد دانه متفاوت است. زنگ زرد با عامل *Pst* دامنه گسترش وسیع‌تری داشته و خطرناک‌تر از سایر زنگ‌ها است (۱۰). عامل بیماری زنگ زرد تولید محصول را از طریق آسیب به سیستم تنفسی گیاه تحت تاثیر قرار داده، قسمت‌های برگی را از بین برده و رشد گیاه را کند می‌کند. مهم‌تر از همه باعث چروکیدگی دانه، کاهش وزن هزاردانه و کیفیت آن شده و موجب کاهش عملکرد شدید دانه نیز می‌شود (۱۰ و ۱۹).

در طی دهه‌های گذشته چندین همه‌گیری از این بیماری در بیشتر نواحی گندم خیز ایران و دنیا گزارش‌شده است که به‌عنوان مثال می‌توان به همه‌گیری‌های سال‌های ۱۳۷۱ و ۱۳۷۳ در ایران اشاره کرد که به ترتیب باعث کاهش عملکرد ۱/۵ و ۱ میلیون تن شده است (۵۰). از سال ۱۹۹۹ تاکنون، پنج بار همه‌گیری زنگ زرد در آسیای مرکزی گزارش شده است (۵۴). مطالعات حاکی از آن است که جدایه‌های جدید زنگ زرد باعث همه‌گیری‌های مکرر و با شدت خسارت بیشتر در مناطق مرکزی و غرب آسیا از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ شده است (۲۳). در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ چین، استرالیا و در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۰، ایالات‌متحده همه‌گیری‌های شدیدی را پشت سر گذاشتند (۱۰ و ۵۱). همچنین در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ شیوع شدید بیماری زنگ زرد در نواحی مرکزی و غرب آسیا و در نواحی شمال آفریقا اتفاق افتاد (۵۴).

استفاده از سموم شیمیایی و عملیات زراعی درکاهش خسارت ناشی از زنگ زرد تا حدودی موثر هستند. اگر چه روش مبارزه شیمیایی در سراسر جهان متداول است، اما این روش مبارزه توسط کشاورزان کشورهای در حال توسعه، قابل اجرا نیست. از طرف دیگر، روش‌های مدیریت سالم در امنیت غذایی جهت مبارزه با عامل بیماری اولویت دارند (۹). عملی‌ترین روش جایگزین، استفاده از مقاومت ژنتیکی در کنترل زنگ زرد است. استفاده از مقاومت ژنتیکی میزبان، اقتصادی بوده و خطرات سلامتی و زیست محیطی را به دنبال ندارد (۱۱ و ۴۳).

علاوه بر این، ارقام مقاوم در کنترل بیماری برای مدت طولانی‌تری موثر بوده و در تولید پایدار محصول نقش مهمی دارند. دو نوع مقاومت ژنتیکی شامل مقاومت اختصاصی- نژاد (Race-specific resistance) و مقاومت غیر اختصاصی- نژاد (Non-race-specific resistance) به خوبی شناخته شده‌اند. مقاومت نوع اول براساس فرضیه ژن برای ژن عمل می‌کند (۱۳). بعد از تکامل نژادهای جدید عامل بیماری، مقاومت اختصاصی- نژاد تقریباً در عرض ۵-۳ سال غیر موثر می‌شود (۲۰).

مقاومت غیر اختصاصی- نژاد توسط ژن‌های کوچک‌اثر (Minor genes) کنترل می‌شود و طول عمر زیادی دارد. استفاده عالمانه از مقاومت ژنتیکی به روش تجمیع ژن‌های اختصاصی- نژاد و غیر اختصاصی- نژاد جهت مدیریت موثر زنگ‌ها پیشنهاد می‌شود. ارقام حاصل از تجمیع دو نوع ژن، به هر دو نوع مقاومت تجهیز شده و مدت طولانی‌تری در مدیریت عامل بیماری زنگ زرد، موثر باقی می‌مانند (۴۷). بنابراین، برای مدیریت کامل عامل بیماری زنگ زرد، منابع ژنتیکی گندم با ژن‌های مقاومت متنوع لازم و ضروی است (۷).

در بسیاری از پاتوسیستم‌های زنگ-غلات، مفاهیم کمی مقاومت ارقام، تشریح شده و مقادیر آن در مرحله گیاه کامل با اندازه‌گیری شدت نهائی بیماری (Final disease severity) در مرحله مشخصی از رشد گیاه، سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (Area Under Disease Progress Curve =AUDPC)، نرخ آلودگی ظاهری (Apparent infection rate) و متوسط ضریب آلودگی (Average coefficient of infection) برآورد می‌شوند (۵ و ۴۰). پژوهشگران مختلفی با استفاده از این پارامترها مقادیر کمی مقاومت ارقام و لاین‌ها را در سطح مزرعه مشخص کرده‌اند (۴، ۳۸، ۳۹ و ۴۱). در بررسی‌های این پژوهشگران همبستگی بالای پارامترهای شدت نهائی بیماری، ضریب آلودگی و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری با یکدیگر مشخص گردیده است. به عنوان مثال، می‌توان به همبستگی مثبت و معنی‌دار بین rAUDPC با پارامترهای مقاومت کمی (Quantitative resistance) از جمله دوره نهان آلودگی (Latent period) و فراوانی تولید اسپور در واحد سطح برگ اشاره کرد (۳۹). همچنین، ضریب همبستگی بالایی بین rAUDPC و کاهش عملکرد در مطالعات پژوهشگران مختلف دیده شده است (۲۶ و ۳۵).

در زمینه ارزیابی مقاومت ارقام و لاین‌های گندم نسبت به زنگ زرد، از سال‌ها پیش تاکنون تحقیقات متعددی در جهان و ایران انجام گرفته است. در مطالعه ۱۴۹ ژنوتیپ آمفی‌پلویید گندم در دو مرحله گیاهچه‌ای و گیاه بالغ به ترتیب ۱۳/۵ و ۸۸ درصد ژنوتیپ‌ها مقاوم بودند (۳). در بررسی دیگر انجام شده در پاکستان برای ارزیابی واکنش ۵۰ رقم و لاین کاندید تحت شرایط گلخانه‌ای (با استفاده از دو پاتوتیپ) و مزرعه‌ای، مشخص شد که ۱۱ ژنوتیپ در مرحله گیاهچه‌ای به هر دو پاتوتیپ واکنش مقاومت و ۳۹ ژنوتیپ مقادیر مختلف مقاومت تدریجی را داشتند (۴۰). باکس و همکاران (۸) هم با استفاده از مقادیر نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC) و واکنش گیاهچه‌ای در ارزیابی ۲۰۰ ژنوتیپ گندم، دریافتند که هر دو تیپ مقاومت گیاهچه‌ای و گیاه بالغ در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی وجود دارد. این محققین همچنین احتمال وجود ژن/ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای *Yr3*، *Yr5*، *Yr10*، *Yr15*، *YrCV*، و*YrSP* را در ژنوتیپ‌های مقاوم ثابت کردند. در بررسی دیگری زینق و همکاران (۵۳)، ۴۹۴ ژنوتیپ گندم را در مرحله گیاهچه‌ای (با استفاده از پنج پاتوتیپ) و گیاه بالغ در چین ارزیابی کردند. در بررسی این محققین ۱۶ ژنوتیپ دارای مقاومت گیاهچه‌ای (All-stage or seedling resistance)، ۹۹ ژنوتیپ مقاومت گیاه بالغ

(Adult plant resistance)، ۲۸ ژنوتیپ مقاومت تدریجی (Slow rusting resistance) و ۳۵۱ ژنوتیپ هم واکنش حساسیت در مرحله گیاهچه‌ای و گیاه بالغ نشان دادند.

در یک پژوهش انجام شده در ایران، ۲۸۴ نمونه ژنتیکی گندم نان از بانک ژن گیاهی ملی ایران دریافتی از ۱۹ کشور، به منظور بررسی تنوع ژنتیکی مقاومت در شرایط مزرعه ای (ساری) و گلخانه‌ای (در برابر چهار پاتوتیپ) مورد مطالعه قرار گرفتند (۵۴). از بین این تعداد، 165ژنوتیپ براساس نتایج ارزیابی اجزاء مقاومت، برای مطالعه مزرعه‌ای در سال دوم انتخاب شدند. سپس تعداد ۵۱ نمونه ژنتیکی برتر در مرحله گیاهچه‌ای در گلخانه توسط چهار پاتوتیپ 38E158A+,Yr27، 174E10A+,Yr27، 6E2A+,Yr27 و 238E190A+,Yr27 مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد تعداد ۹ ژنوتیپ در برابر هر چهار پاتوتیپ مورد بررسی مقاومت نشان دادند و وجود ژن(های) *Yr1*، *Yr4*، *Yr10* و *YrSP* در آن‌ها محتمل می‌باشد. یک ژنوتیپ از هر یک از کشورهای پرتغال، ایران، ژاپن، کره، ایتالیا و پنج ژنوتیپ با منشاء ناشناخته فقط در برابر پاتوتیپ 6E2A+, Yr27 مقاومت نشان دادند و وجود ژن(های) *YrSD* یا *YrND*در آن‌ها محتمل می‌باشد. عمرانی و همکاران(۲۷)، در ارزیابی ۲۴ لاین پیشرفته گندم با ۹ پاتوتیپ زنگ زرد در مرحله گیاهچه‌ای و با دو پاتوتیپ در مرحله گیاه بالغ، ثابت کردند که سه ژنوتیپ نسبت به همه پاتوتیپ‌ها در مرحله گیاهچه‌ای مقاوم بودند. به ترتیب ۲۷ و ۷۷ درصد ژنوتیپ‌ها، در منطقه زرقان و گرگان مقاومت کامل در مرحله گیاه بالغ نشان دادند صفوی و افشاری (۳۶) نیز در یک بررسی هفت ساله پایداری مقاومت ۵۰ رقم گندم، با بررسی پارامترهای مقاومت تدریجی در اردبیل مشخص ساختند که سه رقم همراه با رقم حساس بالاترین مقادیر FRS، CI، *r* و rAUDPC را دارند و به عنوان ارقام حساس گروه‌بندی شدند. هشت رقم در هر دو مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل مقاوم بودند. سیزده رقم در مرحله گیاهچه‌ای مقاوم ولی در مرحله گیاه کامل واکنش متوسط (MR, M, MS) یا حساس تا نیمه‌حساس (MSS) نشان دادند. شانزده رقم هم در مرحله گیاهچه‌ای حساس ولی در مرحله گیاه کامل واکنش متوسط (MR, M, MS) نشان دادند.

با توجه به اهمیت منابع ژنتیکی مقاومت به ویژه مقاومت پایدار (Durable resistance)، تعیین ویژگی‌های ژرم پلاسم گندم دیم برای تشخیص چنین مقاومت‌های متنوعی بسیار مهم و ضروری است. بنابراین، مطالعه حاضر نیز به منظور تشخیص منابع ژنتیکی با تیپ‌های مختلف مقاومت جهت افزایش بهبود عملیات به نژادی برای آزادسازی رقم در ایران انجام شد.

مواد و روش‌ها

بررسی واکنش گیاهچه: تعداد ۱۹۱ ژنوتیپ (شامل ۷۲ ژنوتیپ گندم نان زمستانه، ۸۶ ژنوتیپ گندم نان بهاره و ۳۳ ژنوتیپ گندم دوروم) ارسالی از بخش تحقیقات غلات موسسه تحقیقات دیم کشور برای این بررسی استفاده شدند. برای بررسی گیاهچه‌ای تعداد ۷-۵ بذر از هر ژنوتیپ در گلدان‌های ۷×۷ سانتی متر (حاوی ترکیب خاک، پیت ماس و شن به نسبت‌های ۷ : ۵ : ۵) تحت شرایط کنترل شده در گلخانه‌های بخش غلات کرج کاشته شدند. ده روز بعد از کاشت گلدان‌ها مایه زنی هر ژنوتیپ با استفاده از پاتوتیپ‌های $6E158A^+$ و$6E150A^+$, Yr27 به طور جداگانه و از طریق اسپورپاشی گیاهچه‌ها با مخلوط اسپور و پودر تالک (به نسبت ۱ به ۴) انجام گردید. گلدان‌ها به مدت ۲۴ ساعت در اتاق تاریک در ۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس به گلخانه با درجه حرارت ۸-۱۰ درجه سانتی‌گراد با ۱۶ ساعت روشنائی و ۸ ساعت تاریکی منتقل گردیدند. بعد از ۱۷-۱۴ روز از مایه زنی، از تیپ آلودگی گیاهچه‌ها با استفاده از مقیاس ۴-۰ که توسط استاکمن و همکاران (۴۸) معرفی شده بود، یادداشت‌برداری شد. در این روش تیپ‌های آلودگی ۴-۳ به عنوان حساس و تیپ‌های آلودگی ۲-۰ به عنوان مقاوم در نظر گرفته شدند. به منظور بالا بردن دقت آزمایش، بررسی واکنش گیاهچه‌ای برای هر پاتوتیپ دو بار تکرار شد.

بررسی واکنش گیاه بالغ در شرایط مزرعه: همان تعداد ژنوتیپ مورد بررسی درمرحله گیاهچه‌ای، برای ارزیابی واکنش گیاه کامل نیز مورد استفاده قرار گرفتند. ژرم پلاسم مورد نظر در ایستگاه تحقیقات کشاورزی آلاروق اردبیل (واقع در فاصله ۱۰ کیلومتری جنوب غربی جاده اردبیل-خلخال با طول جغرافیای ۴۸ درجه و ۲۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۲ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۴۳ متر).) طی سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ کشت شدند. تقریباً هشت گرم بذر از هر ژنوتیپ درکرت‌های دو ردیفه با ۳۰ سانتی‌متر فاصله از یکدیگر کاشته شدند. دو ردیف از رقم حساس موروکو نیز بعد از هر ده ژنوتیپ و در کل حاشیه ردیف‌ها به عنوان انتشار دهنده بیماری کاشته شد. در طول فصل زراعی عملیات داشت شامل آبیاری غرقابی (یک بار در فصل پاییز و ۶ بار در فصل بهار با فاصلۀ هر ده روز یکبار)، وجین علف‌های هرز، کودپاشی و دو بار اسپورپاشی انجام گرفت. عملیات مایه‌زنی مصنوعی خزانه در فاصله بین زمان ساقه‌دهی تا قبل از ظهور برگ پرچم (Gs 36) با مخلوط اسپور زنگ زرد (که در فصل زراعی سال قبل جمع‌آوری و در یخچال نگهداری شده بودند) و پودر تالک به کمک گردپاش و در هنگام غروب انجام گردید. توده اسپوری جمعیت عامل زنگ زرد دارای پرآزادی (Virulence) برروی ژن‌های *Yr1*، *Yr2*، *Yr6*، *Yr7*،*Yr9*، *Yr17*، *Yr22*، *Yr23*، *Yr24*، *Yr25*، *Yr26*، *Yr27*، *YrA*، *Yr21*، *Yr31*، *Yr32* و*YrSU* و ناپرآزاری (Avirulence) برای ژن‌های *Yr3v*، *Yr3a*، *Yr4a*، *Yr4*، *Yr5*،

Yr10، *Yr15*، *Yr16*، *YrCV*، *YrSD*، *YrND* بـود (۳۵ و ۳۷). تیپ‌های آلودگی در مرحله گیاه بالغ براساس روش رولفز و همکاران (۳۲) یادداشت‌بردرای شدند. بعد از هر هفت روز یک‌بار و به مدت سه بار یادداشت‌برداری تکرار شد. شدت بیماری براساس درصد برگ آلوده از ۰ تا ۱۰۰ یادداشت‌برداری شد (۲۸). اولین یادداشت‌برداری از بیماری زمانی انجام شد که بیماری روی رقم حساس به ۵۰٪ رسیده بود. داده‌های شدت بیماری برای محاسبه سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) مورد استفاده قرار گرفتند. محاسبه سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری بر اساس روش میلوس و لاین (۲۲). مطابق با فرمول زیر:

$$AUDPC= ((N_1 (X_1+X_2)/2) + (N_2 (X_2+X_3)/2))$$

محاسبه شد که در این فرمول:

AUDPC= سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری

N_1 = فاصلهٔ اولین یادداشت‌برداری با دومین یادداشت‌برداری به روز

N_2 = فاصلهٔدومین یادداشت‌برداری با سومین یادداشت‌برداری

x_1 ، x_2 ، x_3 بترتیب ضریب آلودگی اولین، دومین و سومین یادداشت‌برداری می‌باشند.

مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC) نیز با مقایسه هر لاین با رقم حساس (با فرض ۱۰۰ درصد مقدار رقم حساس) مطابق فرمول زیر محاسبه شد (۲۱):

rAUDPC = (AUDPC × ۱۰۰ هر لاین) / AUDPC رقم حساس

به منظور تعیین گروه‌های مختلف مقاومت، تلفیقی از روش باکس و همکاران (۸) و زینق و همکاران (۵۳)، برای این دسته بندی انجام شد. لاین‌هایی که دارای واکنش گیاهچه‌ای حساس حداقل نسبت به یک پاتوتیپ و مقادیر rAUDPC بین ۱۰-۰ بودند، به عنوان گروه دارای مقاومت گیاه بالغ (APR) در نظر گرفته شدند. لاین‌هایی که دارای واکنش گیاهچه‌ای حساس حداقل نسبت به یک پاتوتیپ و rAUDPC بین۳۰-۱۱ بودند، به عنوان گروه دارای مقاومت تدریجی (SR) و لاین‌های که دارای مقادیر rAUDPC بالای ۳۰ بودند، به عنوان گروه حساس دسته‌بندی شدند. ژنوتیپ‌هایی هم که دارای واکنش مقاومت در برابر هر دو پاتوتیپ بوند، به عنوان گروه دارای مقاومت گیاهچه‌ای انتخاب شدند(ASR). برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

جدول ۱- مشخصات پاتوتیپ‌های مورد استفاده در بررسی واکنش گیاهچه‌ای ژنوتیپ‌های گندم دیم نسبت به زنگ زرد

Table 1- Details of the pathotypes used to study the reaction of the dry-land wheat germplasm to yellow rust at seedling satge

پاتوتیپ Pathotype	محل جمع‌آوری Site of collection	فرمول ناپر آزاری / پرآزاری Airulence / Virulence formula
$6E158A^+$	Mashhad, Khorasan-Razavi	*Yr1, Yr3, Yr4, Yr5, Yr10, Yr15,Yr16, YrCV, YrSD, YrSU, YrSP / Yr2, Yr6, Yr7, Yr8, Yr9, Yr22, Yr23, YrA, YrND*
$6E150A^+$, Yr27	Zarghan, Fars	*Yr1, Yr3, Yr4, Yr5, Yr10, Yr15,Yr16, YrCV, YrSD, YrSU, YrSP / Yr2, Yr6, Yr7, Yr8, Yr9, Yr22, Yr23, YrA, Yr27*

نتایج

نتایج بررسی واکنش گیاهچه در شرایط گلخانه: نتایج ارزیابی با استفاده از پاتوتیپ $6E158A^+$ در مرحله گیاهچه‌ای نشان داد که از ۶۳ ژنوتیپ دارای واکنش مقاومت، ۳۱ ژنوتیپ مربوط به گندم نان زمستانه، ۴ ژنوتیپ از گندم دوروم و ۲۸ ژنوتیپ از گندم نان بهاره بوده است. نتایج ارزیابی با استفاده از پاتوتیپ $6E150A^+$, Yr27 نیز در مرحله گیاهچه‌ای نشان داد که از ۶۴ ژنوتیپ مقاوم، ۲۶ ژنوتیپ از گندم نان زمستانه، ۸ ژنوتیپ از گندم دوروم و ۳۰ ژنوتیپ از گندم نان بهاره بودند.

همچنین نتایج ارزیابی در مرحله گیاهچه‌ای مشخص ساخت که ۵۱ ژنوتیپ در مقابل هر دو پاتوتیپ مقاوم می‌باشند که ۲۴ ژنوتیپ از گندم نان زمستانه، ۴ ژنوتیپ از گندم دوروم و ۲۳ ژنوتیپ از گندم نان بهاره بودند (شکل ۱). تعداد ۲۴ ژنوتیپ در هر دو مرحله گیاهچه‌ای و گیاه بالغ مقاوم بودند. برخی از ژنوتیپ‌های مقاوم در مرحله گیاهچه‌ای، در مرحله گیاه بالغ آلودگی بالائی نشان دادند که در نهایت ۳۴ ژنوتیپ (۱۸٪) انتخاب شدند. فهرست لاین‌های انتخاب شده در جدول ۲ آورده شده است. از بین ۱۹۱ ژنوتیپ مورد بررسی، تعداد ۵۰ ژنوتیپ (۲۶٪) در مرحله گیاهچه‌ای در برابر حداقل یک پاتوتیپ حساس و در مرحله گیاه بالغ تیپ‌های مختلف واکنش مقاومت نشان دادند.

نتایج بررسی واکنش گیاه بالغ در شرایط مزرعه: به علت شرایط آب و هوایی مساعد در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴، ظهور و استقرار بیماری زنگ زرد روی ژنوتیپ‌های گندم مورد ارزیابی به خوبی انجام گرفت و ارزیابی دقیق از ژنوتیپ‌ها به عمل آمد. در شرایط مزرعه‌ای به طور کلی ۸۱ ژنوتیپ حساس و ۱۱۰ ژنوتیپ (۵۷/۶٪) مقاوم بودند. از بین ژنوتیپ‌های مقاوم، براساس مقادیر نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC)، عکس العمل گندم نان زمستانه، بهاره

و گندم دوروم متفاوت بود. به طوری که از بین ژنوتیپ‌های گندم نان زمستانه، بهاره و دوروم به ترتیب تعداد ۹ (۱۲/۵٪)، ۳۸ (۴۴/۲٪) و ۴ (۱۲/۱٪) ژنوتیپ دارای مقادیر پایین سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC=0-10) بودند و به عنوان گروه مقاوم دسته‌بندی شدند (شکل ۲). گروهی از ژنوتیپ‌ها هم دارای مقادیر نسبی متوسط سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC =11-3) بودند، که از بین ژنوتیپ‌های گندم نان زمستانه، بهاره و دوروم به ترتیب تعداد ۱۶ (۲۲/۲٪)، ۳۷ (۴۳٪) و ۱۱ (۳۳/۳٪) ژنوتیپ در این گروه قرار می‌گرفتند. در نهایت گروهی هم مقادیر نسبی بالای سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC >30) را داشتند که از بین ژنوتیپ‌های گندم نان زمستانه، بهاره و دوروم به ترتیب تعداد ۴۷ (۶۵/۲٪)، ۱۱ (۱۲/۸٪) و ۱۸ (۵۴/۵٪) ژنوتیپ در این گروه قرار گرفتند و این گروه به عنوان گروه حساس طبقه‌بندی شدند.

به طور کلی با در نظر گرفتن نتایج واکنش مزرعه‌ای ژنوتیپ‌ها و نتایج واکنش مرحله گیاهچه‌ای در برابر دو پاتوتیپ مطالعه شده، ژنوتیپ‌ها در پنج گروه مختلف قرار می‌گیرند:

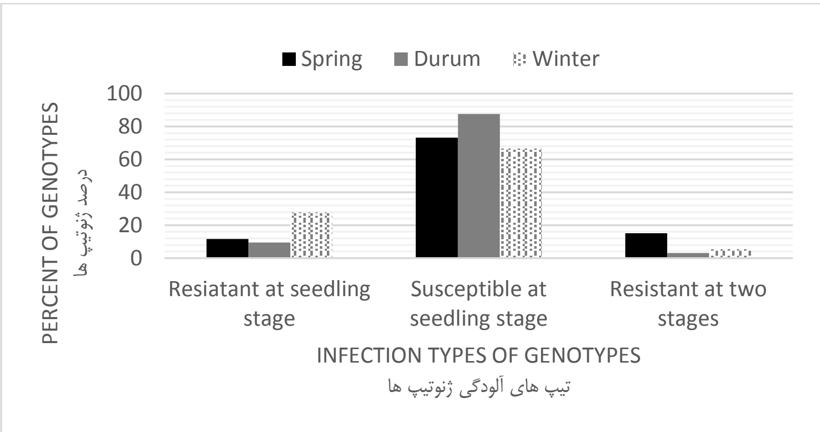
گروه اول: ژنوتیپ‌هائی که در مرحله گیاهچه‌ای حداقل نسبت به یک پاتوتیپ واکنش حساسیت و در مرحله گیاه بالغ مقادیر نسبی پایین سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC =0-10) داشتند، این ژنوتیپ‌ها مهم هستند، زیرا حامل ژن یا ژن‌های مقاومت گیاه بالغ (Adult plant resistance) می‌باشند. ژنوتیپ‌های دارای ژن‌های مقاومت گیاه بالغ از مقاومت پایداری برخوردارند. تعداد ۲۳ (۱۲٪) ژنوتیپ در این گروه قرار گرفتند (جدول۲).

گروه دوم: ژنوتیپ‌هائی که در مرحله گیاهچه‌ای حداقل نسبت به یک پاتوتیپ واکنش حساسیت و در مرحله گیاه بالغ مقادیر نسبی متوسط سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC =11-30) داشتند، این ژنوتیپ‌ها نیز مهم هستند، زیرا حامل ژن یا ژن‌های مقاومت تدریجی (Slow rusting resistance) می‌باشند. ژنوتیپ‌های دارای ژن‌های مقاومت تدریجی نیز از مقاومت پایداری برخوردارند. تعداد ۲۷ (۱۴٪) ژنوتیپ در این گروه قرار گرفتند (جدول ۲).

گروه سوم: ژنوتیپ‌هائی که در مرحله گیاهچه‌ای (در برابر هر دو پاتوتیپ) مقاوم هستند. این گروه دارای ژن‌های مقاومت اختصاصی– نژاد یا ژن‌های مقاومت تمام مرحله‌ای (All-stage resistance genes) هستند. این ژنوتیپ‌ها ممکن است ژن‌های مقاومت غیر اختصاصی– نژاد نیز داشته باشند، اما بوسیله ژن‌های مقاومت موثر اختصاصی– نژاد پوشیده می‌مانند (۴، ۱۲ و ۳۴). تعداد ۵۱ (27%) ژنوتیپ در این گروه قرار گرفتند، اما با توجه به درصد آلودگی بالای برخی از آن‌ها در مرحله گیاه بالغ، فقط فهرست ۳۴ ژنوتیپ در جدول ۲ آورده شده است.

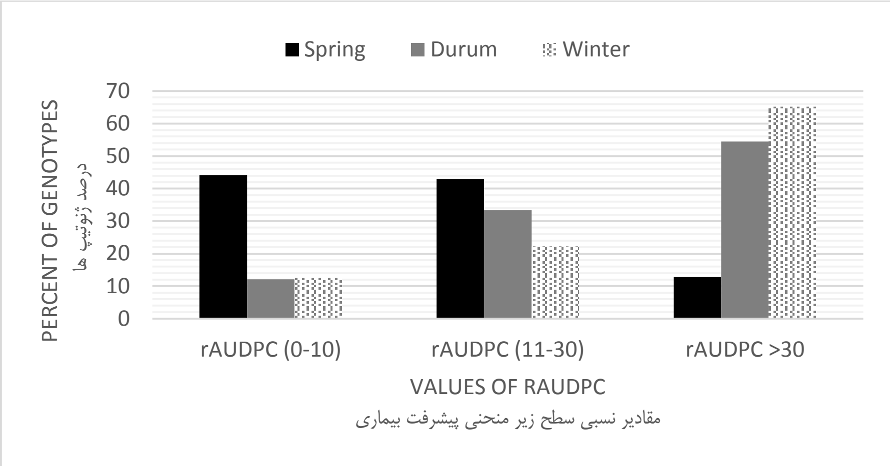
گروه چهارم: گروهی که در مرحله گیاهچه‌ای نسبت به دو پاتوتیپ مورد بررسی واکنش حساسیت و در مرحله گیاه بالغ دارای شدت آلودگی بالا (rAUDPC >30) و تیپ آلودگی نیمه حساس تا حساس (MSS) یا حساس (S) هستند. این گروه فاقد ژن‌های مقاومت گیاه بالغ بوده و ژن مقاومت اختصاصی– نژاد در مقابل پاتوتیپ‌های استفاده شده ندارند. درصد زیادی از لاین‌ها در این گروه قرار می‌گیرند. فهرست این گروه در جدول ۲ آورده نشده است.

گروه پنجم: گروهی که در مرحله گیاهچه‌ای مقاوم و در مرحله گیاه بالغ شدت آلودگی بالا و تیپ آلودگی نیمه حساس (MS) یا نیمه حساس تا حساس (تیپ آلودگی MSS) نشان دادند. این حالت نشان می‌دهد که این ژنوتیپ‌ها فاقد ژن‌های مرحله گیاه بالغ هستند. با وجود داشتن واکنش مقاومت در مرحله گیاهچه‌ای، بوسیله پاتوتیپ یا پاتوتیپ‌های از پاتوژن که در مزرعه موجود هستند آلوده می‌شوند. به عبارت دیگر، دارای ژن‌های مقاومت اختصاصی– نژاد هستند، اما نسبت به پاتوتیپ های مزرعه‌ای موثر نیستند.



شکل ۱- نتایج ارزیابی واکنش گیاهچه‌ای در ژرم پلاسم گندم دیم نسبت به دو پاتوتیپ زنگ زرد

Figure 1- The evaluation results of seedling reaction in dry-land wheat germplasm against two pathotypes of yellow rust (6E158A+ and 6E150A+, Yr27)



شکل ۲- واکنش گیاه بالغ در ژرم پلاسم گندم دیم نسبت به زنگ زرد با اندازه گیری مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری

Figure 2- The adult plant reaction of dry-land wheat germplasm against stripe rust by measuring of relative area under disease progress curve (rAUDPC)

جمعیت این پاتوتیپ یا پاتوتیپ‌ها تحت تاثیر شرایط گلخانه‌ای پایین است و یا از مزرعه جمع آوری نشده است ولی تحت شرایط مزرعه در مدت زمان طولانی اثر بیشتری روی رقم دارد.

بحث

در بررسی حاضر بر اساس داده‌های جدول ۲، مشاهده می‌گردد که تنوع بالائی در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در واکنش نسبت به زنگ زرد وجود دارد. به‌طوری که در این بررسی براساس واکنش گیاهچه‌ای و گیاه بالغ، ژنوتیپ‌های مورد بررسی در گروه‌های مختلفی قرار گرفتند. گروه بندی‌های مشابهی برای واکنش ژنوتیپ‌های گندم در برابر زنگ‌ها در بررسی‌های زینق و همکاران (۵۳)، شاه و همکاران (۴۰) و طریق خان و عرفان الحق (۴۹) دیده می‌شود.

ژن‌های مقاومت گیاه بالغ در مرحله گیاهچه‌ای بیان نمی‌شوند ولی ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای در تمام مراحل رشدی گیاه بیان می‌گردند (۱۰). تکیه بر آزمایشات بررسی‌های گیاهچه‌ای برای تعیین منابع مقاومت به دو دلیل کافی نیست (۳۹). زیرا، اولاً منابع ارزشمند مقاومت کمی ممکن است با مقاومت مرحله گیاهچه‌ای همپوشانی داشته باشند. برخی از نتایج نشان می‌دهند ارقامی که در مرحله گیاهچه‌ای در گروه حساس طبقه‌بندی می‌شوند، ممکن است سطح بالائی از مقاومت کمی گیاه بالغ را دارا باشند. ثانیاً مشخص گردیده است که مقاومت کمی موجود در چنین لاین‌هایی نسبت به مقاومت اختصاصی– نژاد (که در مرحله گیاهچه‌ای تعیین می‌شود) پایدارتر است.

در بررسی برخی محققین اگر چه تصور می‌شود مقاومت برخی ژنوتیپ‌ها غیر اختصاصی است، اما تغییر در پاتوتیپ‌های بیمارگر موجب شکسته شدن مقاومت بسیاری از این ژنوتیپ‌ها نسبت به زنگ زرد شده است که نشان دهنده ناپایداری مقاومت می‌باشد (۳۲). ناپایداری مقاومت در ارقام، متخصصین به‌نژادی را در جهت جستجوی مقاومت تدریجی در برنامه‌های به‌نژادی تشویق کرده است. مقاومت تدریجی، که به نظر می‌رسد مقاومت غیراختصاصی و پایدار باشد، در گندم به‌طور وسیعی مطالعه و پیدا شده است (۴، ۳۸ و ۴۱) و تلاش در جهت یافتن ارقام گندم دارای این نوع مقاومت در طی سال‌های گذشته ادامه داشته است (۵ و ۴۳).

در مطالعه حاضر، برخی از ژنوتیپ‌ها در شجره خود دارای ارقامی مانند Tukuru، kukuna، Attila، Kiritati، Trap و Pastor هستند (جدول ۲). این ارقام به دلیل دارا بودن تعدادی ژن مقاومت غیر اختصاصی– نژاد (تدریجی) نسبت به زنگ زرد، سیاه و قهوه‌ای و حتی برخی بیماری‌های دیگر، مقاومت پایدار و چند پاتوژنی (Multipathogenic) را به رقم معرفی شده اعطا می‌کنند. از جمله این ژن‌ها می‌توان به ژن‌های مقاومت غیر اختصاصی– نژاد *Yr18*، *Yr29*، *Yr30*، *Yr36*، *Yr39*، *Yr46*، *Yr48*، *Yr52* و ژن‌های ناشناخته دیگر اشاره کرد، که به صورت انفرادی یا در ترکیب با یکدیگر در ژرم پلاسم مقاوم دیگر مانند Chapio، Kingbird، Toinchi 81، Vivitsi، Muu و Bluebird وجود دارند (۴۳ و ۴۵). اخیرا برخی از این ارقام دارای مقاومت غیر اختصاصی– نژاد، در تلاقی‌های مربوط به برخی از لاین‌های امیدبخش گندم ایران (به غیر از لاین‌های مورد بررسی در این تحقیق) به کار گرفته شده‌اند.

جدول ۲- مشخصات ژرم پلاسم گندم دیم و نتایج بررسی واکنش گیاهچه‌ای و گیاه بالغ نسبت به زنگ زرد در برخی از ژنوتیپ‌های منتخب گندم دیم

Table 2- Characteristics of used dry land wheat germplasm and, results of seedling and adult plant responses against yellow rust in some of selected wheat lines

No.	Pedigree/ Variety	Growth habit [1]	Seedling response [2] واکنش گیاهچه‌ای		Adult plant response [3] واکنش گیاه بالغ		Kind of resistance [4]
			Path. 1	Path. 2	FRS & IT	rAUDPC	
1	SPII Genebank Collection -2010- 288	W	0;	0;	10MR	8	ASR
2	BUC/PVN//MILAN/3/TX96V2427	W	4	0;	10MR	15	SR
3	88 (CB-R6)/Azar2 //Un known-9/914 Gene Bank Material IRBW 05- 165-0MAR-0MAR-0MAR-5MAR-2MAR	W	;2C	0;	20MR	5	ASR
4	NGDA146/4/YMH/TOB//MCD/3/LIRA/5/F130L1.12 /6/Azar2 /7/Trakia//Maga"s"74/Mon"s"/3/Shahi/4/Khazar/3/Jcam/Emu"s"//Dove" IRBW 05- 013-OMAR-0SHI-OMAR-1MAR-2MAR	W	0;	0;	30MR	18	ASR
5	Fengkang15/Sefid/4/Dari-16/3/Hd2172/Bloudau//Azadi /5/10 GHAZAGESTAN 98-99/Zagros IRBW 05- 099-OMAR-0SHI-OMAR-2MAR-1MAR	W	0;	0;	20MR	19	ASR
6	Gahar/4/Trakia//Maga"s"74/Mon"s"/3/Shahi/5/Gahar//MOMCHIL/KATYA1 IRBW 05- 201-0MAR-0MAR-0MAR-3MAR-2MAR	W	0;	0	10MR	8	ASR
7	ID800994W/VEE//F900K/3/PONY/OPATA/4/4848 Mashad/Tui"s" /5/Un known-2/4/Trakia//Maga"s"74/Mon"s"/3/Shahi IRBW 05- 004-OMAR-0SHI-OMAR-1MAR-1MAR	W	0;	0	10MR	8	ASR
8	RANA96/3/RSK/CA8055//CHAM6 TCI 001093-030YE-030YE-7E -0E	W	;2C	0	20M	5	ASR
9	SABALAN/ALTAY	W	0;	0;	20MR	14	ASR
10	PAVON (dwarf)/KAUZ (tall) IRW 05-06-84-OMAR-OMAR_0MAR	W	0;	0;	10MR	11	ASR
11	CROC-1/AE.SQUARROSA (205)// KAUZ/3/SASIA/4/CHEN/ AEGILOPS SQUARROSA(TAUS)//BCN /3/VEE#7/… IRW 05-06-221-OMAR-OMAR_0MAR	W	2C	3	10MR	3	APR
12	ZARGANA-3//JUN/BOMB IRW 05-06-333-OMAR-OMAR_0MAR	W	0	0;	10MR	8	ASR
13	SOROCA//SAULESKU #44/TR810200 IRW 05-06-171-OMAR-OMAR_0MAR	W	0;	0	R	4	ASR
14	SOROCA//SAULESKU #44/TR810200 IRW 05-06-171-OMAR-OMAR_0MAR	W	0;	0;	30MR	16	ASR
15	KACHU #1/KIRITATI//KACHUCMSS06Y00778T-099TOPM-099Y-099ZTM-099NJ-099NJ-6WGY-0B	S	3	3	20MS	11	SR
16	BABAX/KS93U76//BABAX/3/2*SOKOLLCMSA06M00008T-024(PINBD1BHET)Y-040ZTM-026(PINBD1BPOS) ZTY-20ZTM-0Y-0B	S	2CN	2CN	R	1	ASR
17	BERKUT/MUU//DANPHE #1CMSA07M00073T-050Y-040ZTM-040ZTY-31ZTM-010Y-02B-0Y	S	3	3	30MR	27	SR
18	ROLF07*2/5/REH/HARE//2*BCN/3/CROC_1/AE.SQUARROSA (213)//PGO/4/ HUITESCMSS 06Y00926T-099TOPM-099Y-099ZTM-099Y-099M-5WGY-0B	S	3	3	20MR	11	SR
19	SUP152/BLOUK #1CMSS06B00033S-0Y-099ZTM-099NJ-099NJ-3WGY-0B	S	;2C	3	R	1	APR
20	MUTUS/AKURICMSS06B00451S-0Y-099ZTM-099Y-099M-3WGY-0B	S	;2C	2CN	R	1	ASR
21	NAC/TH.AC//3*PVN/3/MIRLO/BUC/4/2*PASTOR/5/KACHU/6/KACHUCMSS06B00734T-099TOPY-099ZTM-099Y-099M-13WGY-0B	S	3	3	R	1	APR
22	KIRITATI/WBLL1//2*BLOUK #1CMSS07Y00849T-099TOPM-099Y-099M-099Y-17M-0WGY	S	2C	3	30M	22	SR
23	BAJ #1*2/WHEARCMSS07Y01201T-099TOPM-099Y-099M-099Y-15M-0WGY	S	3	3	20M	23	SR
24	FRET2*2/BRAMBLING//BECARD/3/WBLL1*2/BRAMBLINGCMSS07B00560T-099TOPY-099M-099Y-099M-19WGY-0B	S	4	3	10MR	14	SR
25	KACHU/BECARD//WBLL1*2/BRAMBLINGCMSS07B00580T-099TOPY-099M-099Y-099M-10WGY-0B	S	0	2CN	R	1	ASR
26	KA/NAC//TRCH/3/VORB CMSA07M00443S-040M-0NJ-0NJ-10Y-OB	S	;2C	2C	30MR	22	ASR
27	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAUPTSS02B00015S-0Y-0B-0Y-0B-1Y-0M-0SY	S	3	3	20MR	14	SR
28	OR 9437534/SOKOLL//SOKOLL CMSA04Y01203T-040ZTM-040ZTY-040ZTM-040SY-5ZTM-04Y-0B	S	;2CN	;2CN	20MR	14	ASR
29	KLCQ/ER2000//WBLL1CMSA01M00286T-040Y-040P0M-040ZTY-040M-040SY-3M-0Y-02B-0Y	S	3	3	10MR	3	APR
30	CHEN/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)//BCN/3/ BAV92/4/BERKUTCMSA02Y00104S-040P0Y-040ZTM-040SY-040M-10ZTY-02M-0Y	S	0;	2C	R	1	ASR
31	FRET*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP/KAUZ/5/ONIX CMSA05Y00325S-040ZTP0Y-040ZTM-040SY-21ZTM-03Y-0B	S	3	4	10MR	3	APR
32	CNO79//RF70354/MUS/3/PASTOR/4/BAV92/5/FRET2/KUKUNA//FRET2/6/MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92 CMSA05Y01011T-040M-040ZTP0Y-040ZTM--40SY-14ZTM-03Y-0B	S	0	0	R	1	ASR
33	MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92/4/WBLL1*2KUKUNA CMSA04M00040S-040ZTB-040ZTY-040ZTM -040SY-2ZTM-01Y-0B	S	0	2C	20MR	5	ASR
34	TC870344/ GUI//TEMPORALERA M 87/AGR/3/ 2*WBLL1 CMSA01Y00725T-040M-030ZTM-040SY-10M-0Y-0SY	S	3	3	30MR	22	SR
35	ATTILA*2/PBW65//BERCUT CMSA01M00074S-04P0M-030ZTM-040SY-040M-20Y-0M-0SY	S	3	4	20MR	14	SR
36	FRET2*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ/5/PFAU/WEAVER//BRAMBLINGCMSS05B00480S-099Y-099M-099Y-099ZTM-22WGY-0B	S	2C	4	10MR	8	APR
37	KAUZ//ALTAR 84/AOS/3/MILAN/KAUZ/4/HUITES /7/CAL/NH//H567.71/3/SERI/4/CAL/NH//H567.71/5/2*KAUZ/6/PASTORCMSS05B00581S-099Y-099M-099Y-099ZTM-2WGY-0B	S	2C	0	R	1	ASR
38	PBW343*2/KUKUNA//PARUS/3/PBW343*2/KUKUNACGSS05B00256T-099TOPY-099M-099NJ-099NJ-5WGY-0B	S	3	3	10MR	8	APR
39	PBW343*2/KUKUNA*2//YANACCGSS05B00258T-099TOPY-099M-099NJ-2WGY-0B	S	3	0	R	10	APR
40	CHAMRAN/4/CMH82A.1294/2*KAUZ//MUNIA/CHTO/3/MILANICW02-00275-1AP/0TS-0AP-0AP-5AP-0AP	S	0	0	R	6	ASR
41	HAMAM-4/ANGI-2ICW02-00621-2AP/0TS-0AP-0AP-6AP-0AP	S	3	4	10MR	8	APR
42	CNO79//PF70354/MUS/3/PASTOR/4/BAV92/5/FRET2/KUKUNA//FRET2/6/MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92CMSA05Y01011T-040M-040ZTP0Y-040ZTM-040SY-14ZTM-03Y-0B	S	0;	0	R	1	ASR
43	ATTILA*2/PBW65//KACHUCMSS05B00004S-099Y-099M-099Y-099ZTM-1WGY-0B	S	2CN	2CN	10MR	8	ASR
44	PBW343*2/KUKUNA//SRTU/3/PBW343*2/KHVAKICGSS05B00261T-099TOPY-099M-099NJ-099NJ-6WGY-0B	S	3	2CN	30MR	11	SR
45	ATTILA*2/PBW65/6/PVN//CAR422/ANA/5/BOW/CROW//BUC/PVN/3/YR/4/TRAP#1/7/ATTILA/2*PASTORCGSS05B00290T-099TOPY-099M-099NJ-099NJ-7WGY-0B	S	3	0;	10MR	8	APR
46	WBLL1/KUKUNA//TACUPETO F2001/5/ WAXWING /4/ SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP// KAUZ CMSS05B00053S-099Y-099M-099Y-099ZTM-19WGY-0B	S	3	2CN	30MR	18	SR
47	KANZ*4/KS85-8-4/5/2*FRET2*2/4/SNI/TRAP#1/ 3/ KAUZ*2/ TRAP//KAUZCGSS05Y00186T-099M-099Y-099M-099Y-099ZTM-2WGY-0B	S	3	4	20MR	16	SR
48	KANZ*4/KS85-8-4/5/2*FRET2*2/4/SNI/ TRAP#1 /3/ KAUZ*2/TRAP//KAUZ CGSS05Y00186T-099M-099Y-099M-099Y-099ZTM-20WGY-0B	S	3	4	20MR	19	SR
49	SAUAL/3/MILAN/S87230//BAV92CMSS05B00593S-099Y-099M-099Y-099ZTM-14WGY-0B	S	0	2CN	10M	3	ASR
50	FRET2/KUKUNA//FRET2/3/TUKURU/4/FRET2/TUKURU//FRET2CGSS05B00149T-099TOPY-099M-099NJ-099NJ-2WGY-0B	S	3	3	10MR	3	APR

ادامه جدول ۲-.........

Table 2- To be continued.....

No.	Pedigree/ Variety	Growth habit [1]	Seedling response [2] واکنش گیاهچه‌ای Path. 1	Path. 2	Adult plant response 3 واکنش گیاه بالغ FRS & IT	rAUDPC	Kind of resistance [4]
51	FRET2/KUKUNA//FRET2/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/5/FRET2*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZCGSS05B00162T-099TOPY-099M-099Y-099ZTM-16WGY-0B	S	3	4	30MR	**18**	SR
52	FRET2/KUKUNA//FRET2/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/5/FRET2*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZCGSS05B00162T-099TOPY-099M-099NJ-099NJ-7WGY-0B	S	3	4	10MR	**8**	APR
53	PBW343*2/KUKUNA//WBLL1*2/KUKUNACMSA05M00118S-0100ZTM-029(LR34 HOM+HET)ZTY-040ZTM-040SY-16ZTM-0Y-0B	S	2CN	2CN	30MR	**18**	ASR
54	KACHU #1/KIRITATI//KACHUCMSS06Y00778T-099TOPM-099Y-099ZTM-099NJ-099NJ-6WGY-0B	S	3	2CN	10MR	**3**	APR
55	BECARD/KACHUCMSS06B00169S-0Y-099ZTM-099Y-099M-28WGY-0B	S	2CN	2CN	R	**1**	ASR
56	KABY/4/TEU2/3/URES/FUN//KAUZ IRBWG-2006-001G-0G-0G-0G-10G-0G	S	2C	3	20MS	**11**	SR
57	KABY/4/TEU2/3/URES/FUN//KAUZ IRBWG-2006-001G-0G-0G-0G-12G-0G	S	2C	2C	10MR	**14**	ASR
58	VEE"S"/SAKER//ZAGROS IRBWG-2006-033G-0G-0G-0G-3G-0G	S	3	3	30MS	**16**	SR
59	KOOHDASHT	S	0	0	10MR	**3**	ASR
60	DEHDASHT	S	3	3	30M	**18**	SR
61	KS82142/2*WBLL1CMSA01Y00397T-040M-040P0Y-040M-030ZTM-040SY-4M-0Y-0SY	S	3	3	R	**1**	APR
62	KS82142/2*WBLL1CMSA01Y00397T-040M-040P0Y-040M-030ZTM-040SY-21M-0Y-0SY	S	3	3	R	**6**	APR
63	PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/WBLL1PTSS02Y00023S-0Y-030ZTM-040SY-040M-19Y-0M-0SY	S	3	3	20MR	**16**	SR
64	TC870344/GUI//TEMPORALERA M 87/AGR/3/2* WBLL1 CMSA01Y00725T-040M-040P0Y-040M-030ZTM-040SY-33M-0Y-0SY	S	4	3	20MR	**16**	SR
65	KS82W418/SPN/3/CHEN/AE.SQ//2*OPATA/4/FRET2CMSA01M00316T-040Y-040M-030ZTM-040SY-040M-53Y-0M-0SY	S	3	3	R	**1**	APR
66	QIMMA-8 CMSS93Y00332S-1AP-3AP-3AP-0APS-0AP	S	3	3	10MR	**3**	APR
67	TC870344/ GUI//TEMPORALERA M 87/AGR/3/ 2*WBLL1 CMSA01Y00725T-040M-030ZTM-040SY-10M-0Y-0SY	S	3	4	20MR	**23**	SR
68	FRET2*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ/5/PFAU/WEAVER//BRAMBLINGCMSS05B00480S-099Y-099M-099Y-099ZTM-22WGY-0B	S	3	4	10MR	**3**	APR
69	KAUZ//ALTAR 84/AOS/3/MILAN/KAUZ/4/HUITES /7/CAL/NH//H567.71/3/SERI/4/CAL/NH//H567.71/5/2*KAUZ/6/PASTORCMSS05B00581S-099Y-099M-099Y-099ZTM-2WGY-0B	S	0;	1CN	10MR	**3**	ASR
70	HAMAM-4/ANGI-2ICW02-00621-2AP/0TS-0AP-0AP-6AP-0AP	S	3	3	20MR	**19**	SR
71	ATTILA*2/PBW65//KACHUCMSS05B00004S-099Y-099M-099Y-099ZTM-1WGY-0B	S	3	3	20MR	**5**	APR
72	PBW343*2/KUKUNA//SRTU/3/PBW343*2/KHVAKICGSS05B00261T-099TOPY-099M-099NJ-099NJ-6WGY-0B	S	0	3	10MR	**3**	APR
73	KANZ*4/KS85-8-4/5/2*FRET2*2/4/SNI/TRAP#1/ 3/ KAUZ*2/ TRAP//KAUZCGSS05Y00186T-099M-099Y-099M-099Y-099ZTM-2WGY-0B	S	4	3	30MR	**18**	SR
74	PBW343*2/KUKUNA//WBLL1*2/KUKUNACMSA05M00118S-0100ZTM-029(LR34 HOM+HET)ZTY-040ZTM-040SY-16ZTM-0Y-0B	S	2C	3	30MR	**22**	SR
75	BECARD/KACHUCMSS06B00169S-0Y-099ZTM-099Y-099M-28WGY-0B	S	0	2CN	R	**1**	ASR
76	KARIM	S	3	3	R	**6**	APR
77	61-130	F	0	2CN	30MR	**13**	ASR
78	Saji	F	3	3	30MR	**16**	SR
79	G-1252	F	2CN	3	20MR	**11**	SR
80	61-130	F	2CN	0	10MR	**3**	ASR
81	46078	F	3	3	10MR	**3**	APR
82	46078	F	3	3	20MR	**17**	SR
83	46061	F	3	3	10MR	**6**	APR
84	TN_12736	F	0	0	R	**1**	ASR
check	Morocco	-	3	3	100S	**100**	S

۱- تیپ رشد : گندم نان زمستانه (W)، بهاره (S) و گندم دوروم بینابین (F)

۲- واکنش گیاهچه‌ای به روش استاکمن و همکاران (Stakman et al., 1962) ، برای دو پاتوتیپ 6E150A⁻, Yr27 (Path. 1) و 6E158A⁺ (Path. 2).

2- Seedling reaction types based on methohd of Stakman et al. (1962), for two pathotypes; $6E150A^-$, Yr27 (Path. 1) and $6E158A^+$ (Path. 2).

۳- واکنش گیاه بالغ به روش رولفز و همکاران (Roelfes *et al*., 1992)، مقاوم (R)-بدون اسپورزائی، نیمه مقاوم(MR)- با جوش های کوچک احاطه شده با نواحی نکروزه، نیمه مقاوم تا نیمه حساس (M)، نیمه حساس(MS)- با جوش های متوسط دارای نواحی کلروزه ولی بدون نکروزه، حساس(S)- با جوش‌های بزرگ بدون نواحی کلروزه و نکروزه.

3- Adult plant response based on Roelfs *et al*. (1992). R= resistant; without sporulation, MR= moderately resistant; small pustules surrounded by necrotic areas, M= moderately resistant to moderately susceptible, MS= moderately susceptible; medium-sized pustules, no necrosis, but some chlorosis possible, S= susceptible; large pustules, no necrosis or chlorosis.

4- Kind of resistance; All-stage resistance or seedling resistance (ASR), Adult plant resistance (APR), Slow rusting resistance (SR).

۴- تیپ های مختلف مقاومت براساس واکنش گیاهچه‌ای و گیاه کامل.

مطالعات انجام شده در سیمیت (CIMMYT) نشان داده است که ژن *Yr29* با ژن *Lr46* و ژن نکروز نوک برگ (*Ltn2*) پیوستگی دارد (۴۵ و ۱۸). ژن مقاومت *Yr46* نیز با ژن *Lr67* پیوستگی دارد (۱۵). این ژن‌های مقاومت، مسئول مقاومت غیر اختصاصی- نژاد (تدریجی) در برابر زنگ زرد و زنگ قهوه‌ای هستند. ژن مقاومت تدریجی *Yr30* که در چندین رقم گندم با منشا سیمیت پیدا شده است، در ناحیه کروموزومی حامل ژن مقاومت تدریجی *Sr2* که نسبت به برخی از پاتوتیپ‌های عامل زنگ ساقه مقاوم هستند، یافت می‌شود (۴۶).

ژن‌های مقاومت تدریجی *Yr29* و *Yr30* به طور وسیعی در ژرم پلاسم گندم سیمیت استفاده شده‌اند (۴۵). ژن‌های مقاومت *Yr18/Lr34* با ژن نکروز نوک برگ (*Ltn1*) پیوستگی دارند. ژن‌های مقاومت نسبی*Yr46/Lr67* نیز با ژن دیگر نکروز برگ (*Ltn3*) پیوستگی دارند (۱۸). نکروز نوک برگ، ویژگی مورفولوژیکی است که پیوستگی کامل با ژن‌های مختلف مقاومت غیر اختصاصی- نژاد نسبت به زنگ زرد، قهوه‌ای، سیاه و سفیدک سطحی نشان می‌دهد (۱۸ و ۴۲) و در مواردی می‌تواند به عنوان یک نشانگر مهم در تشخیص اولیه لاین‌های گندم حامل این ژن‌های مقاومت استفاده شود (۱۸).

در بررسی سال‌های اخیر نیز مشخص گردیده است که ژن *Yr46* با ژن‌های *Sr55* (دارای مقاومت غیر اختصاصی- نژاد نسبت به زنگ سیاه) و ژن *Pm46* (دارای مقاومت غیر اختصاصی- نژاد نسبت به سفیدک سطحی گندم) پیوستگی دارد (۱۸ و ۴۴). ژن‌های *Yr18* و *Yr29* نیز به ترتیب با ژن‌های *Pm38*، *Stb1* (ژن مقاومت به لکه‌برگی سپتوریایی گندم)،*Bdv1*، *Sr57* و ژن‌های *Pm39*، *Lr46*، *Sr58* پیوستگی دارند (۴۴).

طی بررسی‌های سال‌های قبل مشخص شده بود که طیف ژنتیکی مقاومت در بیشتر ژنوتیپ‌های قدیم گندم دیم ایران نسبت به تنش‌های زنده مهم (به ویژه زنگ زرد)، محدود هستند (۲۴ و ۲۵). بیشتر ارقام ملی گندم در ایران، براساس تعداد محدود ژن مقاومت مرحله گیاهچه‌ای، نسبت به زنگ زرد اصلاح و معرفی شده‌اند (۲۵ و ۳۶). بنابراین، در مقابل ظهور پاتوتیپ‌های جدید زنگ زرد که هر از چندگاهی بروز می‌یابند، آسیب‌پذیر هستند (۷ و ۳۷). چنین سناریوی هشدار دهنده‌ای، گسترش طیف ژن‌های مقاومت را در ارقام محلی (که ترکیب ژنتیکی محدودی دارند)، از طریق تلفیق ژرم پلاسم متنوع از نظر مقاومت ژنتیکی در برنامه‌های به‌نژادی توصیه می‌کند. در مطالعه حاضر، مقاومت به زنگ زرد در هر دو مرحله گیاهچه‌ای و گیاه بالغ در ژرم پلاسم گندم دارای زمینه ژنتیکی متنوع مشاهده شد. به منظور تشخیص وتعیین منابع مقاومت گیاهچه‌ای، ژرم پلاسم گندم در مرحله گیاهچه‌ای با استفاده از دو پاتوتیپ زنگ زرد $6E158A^+$ و$6E150A^+$, Yr27 تحت شرایط کنترل شده گلخانه غربال شدند.

نتایج ارزیابی در مرحله گیاهچه‌ای مشخص ساخت که ۵۱ ژنوتیپ در مقابل هر دو پاتوتیپ مقاوم می‌باشند که ۲۴ ژنوتیپ از گندم نان زمستانه، ۴ ژنوتیپ از گندم دوروم و ۲۳ ژنوتیپ از گندم نان بهاره بودند. به طور کلی با توجه به عدم کارائی برخی ژن‌های مقاومت گیاهچه ای در شرایط مزرعه ای، از بین ژنوتیپ های دارای مقاومت گیاهچه‌ای ۳۴ ژنوتیپ انتخاب شدند (۱۸٪). بقیه ژنوتیپ‌ها از بین سه دسته ژرم پلاسم حداقل نسبت به یک پاتوتیپ حساس بودند، که بیانگر نبود ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای در آن‌ها بود. براساس الگوی پرآزاری و نا پرآزاری توده جمعیت بیمارگر و پاتوتیپ‌های بررسی شده، ژنوتیپ‌های مقاوم گیاهچه‌ای احتمالاً دارای ژن یا ژن‌های مقاومت *Yr3v*، *Yr3a*، *Yr4a*، *Yr4*، *Yr5*، *Yr10*، *Yr15*، *Yr16*، *YrCV* و *YrSD* می‌باشند. وجود احتمالی تعدادی از این ژن های گیاهچه‌ای در ژنوتیپ‌های مقاوم در بررسی‌های محققین دیگر نیز به اثبات رسیده بود (۸ و ۵۲). این ژن‌های مقاومت در شرایط مزرعه‌ای نیز در مکان‌های مختلف در ایران، موثر گزارش شده‌اند (۱ و ۳۷). با وجود این، برای اثبات وجود این ژن‌های مقاومت در ژرم پلاسم مطالعه شده، نشانگرهای مولکولی و مطالعات ژنتیکی و نیز بررسی‌های گیاهچه‌ای با استفاده از چند پاتوتیپ مورد نیاز می‌باشد.

برای بررسی وجود مقاومت مزرعه‌ای، همان تعداد ژرم پلاسم بررسی شده در مرحله گیاهچه‌ای در ایستگاه تحقیقات کشاورزی آلاروق به عنوان یکی از مکان‌های اصلی برای برررسی زنگ زرد، برای سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ ارزیابی شدند. همه‌گیری‌های سنگین زنگ زرد که قبلاً در این ایستگاه گزارش شده بود، این مکان را برای ارزیابی و غربالگری زنگ زرد کاملاً مناسب ساخته است (۳۶ و ۳۸).

در مرحله گیاه بالغ داده‌های شدت بیماری برای محاسبه rAUDPC برای هر ژنوتیپ با مقایسه شدت آلودگی آن‌ها با شدت آلودگی رقم حساس (موروکو) استفاده شدند. این روش، پیشرفت بیماری در مرحله گیاه بالغ در زمان مورد نظر را نشان می‌دهد و نشانگر میزان مقاومت در برابر بیماری در ژرم پلاسم میزبان است. بنابراین، این روش به طور گسترده‌ای جهت تشخیص مقاومت تدریجی (Slow rusting) یا پایدار (Durable) در ژرم پلاسم استفاده شده است. در مطالعات مشابهی که قبلاً انجام شده است، مقدار rAUDPC توسط بیماری‌شناسان مختلف برای تجزیه و تحلیل داده‌های بیماری نسبت به زنگ‌ها مورد استفاده قرار گرفته است (۸، ۱۴، ۳۳ و ۴۱). مشاهدات مزرعه‌ای مشخص کرد که در مرحله گیاه بالغ به ترتیب ۱۲،۵، ۴۴/۲ و ۱۲/۱ درصد از ژنوتیپ‌های گندم نان زمستانه، بهاره و گندم دوروم با داشتن مقدار rAUDPC= 0-10 مقاوم بودند (شکل ۲، جدول ۲). در حالی‌که فقط ۶۴ ژنوتیپ، واکنش متوسط (rAUDPC=11-30) داشتند. تعداد زیادی از این ژنوتیپ‌ها با داشتن واکنش مقاومت تا نیمه‌مقاومت تحت شرایط مزرعه‌ای، در

مرحله گیاهچه‌ای واکنش حساسیت (حداقل نسبت به یک پاتوتیپ) نشان دادند که بیانگر وجود مقاومت گیاه بالغ (مقاومت تدریجی یا پایدار) است. مطالعه حاضر، ژنوتیپ‌های دو گروه دارای سطح پایین و متوسط مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC) را به عنوان منبع بالقوه مقاومت گیاه بالغ نسبت به زنگ زرد تعیین کرده است. بسیاری از این ژنوتیپ‌ها از ارقام خارجی و با منشاء سیمیت (CIMMYT) حاصل شده‌اند و دارای ژن‌های مقاومت گیاه بالغ (Adult plant resistance) یا مقاومت تدریجی می‌باشند (۴۳ و ۴۵).

لاین‌های مقاوم بعد از آزمایشات ویژگی‌های زراعی به ویژه عملکرد و ویژگی‌های مهم دیگر در آزمایشات ملی، می‌توانند معرفی شده و یا در برنامه‌های به‌نژادی وارد شوند. برای ارتقاء ژنتیکی لاین‌های امیدبخش ایران، هیبریداسیون با منابع ژرم پلاسم خارجی مختلف انجام شده‌است. به منظور بررسی وضعیت مقاومت آن‌ها نسبت به زنگ زرد لاین‌های به‌نژادی جدید تحت شرایط مزرعه‌ای بررسی شدند. داده‌های شدت بیماری در شرایط مزرعه‌ای در مرحله گیاه بالغ نشان دادند که ۵۱ ژنوتیپ از کل ژنوتیپ‌ها با داشتن مقدار rAUDPC=0-10 مقاوم بودند، درحالیکه ۳۳/۵٪ ژنوتیپ‌ها واکنش حدواسط (rAUDPC =11-30) داشتند. از میان ژنوتیپ‌های بررسی شده در این مطالعه بیشترین تعداد ژنوتیپ مقاوم در مرحله گیاهچه‌ای و گیاه بالغ به ژنوتیپ‌های گندم نان بهاره اختصاص داشت که بیانگر استفاده از ارقام دارای ژن‌های مقاومت تدریجی متنوع، مانند Tukuru، kukuna، Kiritati و Trap و Pastor در شجره این گروه می‌باشد. برخی از این ارقام ۴-۳ ژن مقاومت غیر اختصاص- نژادی را حمل می‌کنند و در صورت جمع شدن ۵-۴ ژن مقاومت غیر اختصاص -نژادی در یک رقم، مقاومت آن نزدیک به مقاومت کامل یا مصون خواهد بود (۴۳).

علاوه بر معرفی ژرم پلاسم خارجی به عنوان رقم، این لاین‌ها که از لحاظ ژنتیکی جهت اصلاح ارقام استفاده می‌شوند، می‌توانند در شرایط ایران به عنوان ارقام سازگار استفاده شوند. در مطالعه مشابهی، افضل و همکاران (۲)، مقاومت پایدار مزرعه‌ای نسبت به زنگ زرد را در میان ۱۸۸ لاین به نژادی در پاکستان گزارش کرده است.

در مقیاس جهانی، بیماری شناسان تشخیص داده‌اند که طول عمر ژن‌های مقاومت بزرگ‌اثر (Major genes) کوتاه است. به منظور پایدار ساختن مقاومت ژنتیکی، ژن‌های کوچک‌اثر (Minor genes) یا QTLs نسبت به ژن‌های مقاومت اختصاصی-نژاد ترجیح داده می‌شوند. اگر چه تشخیص و استفاده از منابع مقاومت پایدار پر زحمت و زمان‌بر است، ژرم پلاسم گندم با مقاومت پایدار به خوبی تشخیص و استفاده شده‌اند (۴۳ و ۴۷). روش جایگزین دیگر، تجمیع (تلفیق) منابع مقاومت ژن‌های کوچک‌اثر و بزرگ‌اثر در یک رقم از طریق برنامه‌های به نژادی و انتخاب به کمک نشانگرهای مولکولی است. با به کارگیری هر دو نوع مقاومت گیاهچه‌ای و گیاه بالغ در ارقام گندم زمستانه و بهاره، مدیریت زنگ زرد پایدار خواهد بود. زیرا در چنین ارقامی سطح شیوع کلی بیماری، ماده آلوده کننده اولیه (Inoculum) و زمستان گذران زنگ زرد و سرعت تکامل پاتوتیپ پایین می‌ماند (۳۰). برخی از محققین هم معتقدند بسته به زمان ظهور زنگ زرد، می‌توان نوع متفاوتی از مقاومت را به کار برد (۵۳). به این ترتیب که در صورت ظهور دیر هنگام زنگ زرد، ژن‌های مقاومت گیاه بالغ و در صورتی که آلودگی در پاییز و یا زودتر اتفاق بیافتد، به کارگیری ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای و گیاه بالغ توأماً توصیه می‌شود.

در تحقیق حاضر، با بررسی پرآزاری و ناپرآزاری پاتوتیپ‌ها و جمعیت پاتوتیپ مزرعه‌ای، منابع مقاومت گیاهچه‌ای که احتمالاً حامل ژن‌های مقاومت *Yr3v*، *Yr3a*، *Yr4a*، *Yr4*، *Yr5*، *Yr10*، *Yr15*، *Yr16*، *YrCV*، *YrSD* و یا ژن‌های ناشناخته دیگری هستند و منابع مقاومت گیاه بالغ که در ژرم پلاسم مورد بررسی گزارش شدند، می‌توانند برای تجمیع و هرمی کردن ژن‌ها مورد استفاده قرار گیرند، تا مقاومت پایدارتری علیه بیمارگر مخرب زنگ زرد در ایران ایجاد شود.

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر تعدادی از ژنوتیپ‌ها که دارای مقاومت گیاهچه‌ای و با احتمال وجود ژن/ژن‌های مقاومت *Yr3v*، *Yr3a*، *Yr4a*، *Yr4*، *Yr5*، *Yr10*، *Yr15*، *Yr16*، *YrCV* و *YrSD* *بودند*، شناسائی شدند. بیشتر ژنوتیپ‌های گندم نان زمستانه فاقد مقاومت گیاهچه‌ای بودند. تعدادی از ژنوتیپ‌ها مقاومت غیر اختصاصی-نژاد و پایدار (مقاومت گیاه بالغ و یا تدریجی) داشتند و این درصد در بین ژنوتیپ‌های گندم نان بهاره بیشتر از ژنوتیپ‌های گندم نان زمستانه و گندم دورم بود. این ژرم پلاسم با منابع متنوع مقاومت در تجمیع هر دو تیپ ژن‌های مقاومت از طریق هرمی کردن ژن‌ها برای مقاومت پایدار مفید خواهند بود و در نهایت ارقام مقاوم (دارای مقاومت پایدار) با عملکرد بالا برای کشاورزان معرفی خواهد شد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی موسسه تحقیقات دیم کشور، تحت پروژه‌ی به شماره ۹۴۱۲۳-۱۵-۱۵-۰ اجرا گردیده است. بدینوسیله از کلیه همکاران محترم موسسه و مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل که در اجرای این تحقیق ما را یاری کردند، تشکر و قدردانی خود را اعلام می‌کنیم.

منابع

1- Afshari F. 2008. Prevalent pathotypes of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in Iran. Journal of Agricultural Science and Technology 10: 67-78.
2- Afzal S.N., Haque M.I., Ahmedani M.S., Munir M., Firdous S.A., Rauf A., Ahmad I., Rattu A.R., and Fayaz M. 2009. Resistance potential of wheat germplasm (*Triticum aestivum* L.) against stripe rust disease under rain fed climate of Pakistan. Pakistan Journal of Botany 41(3): 1463-1475.
3- Ahmed S., Bux H., Rasheed A., Gul Kazi A., Rauf A., Mahmood T., and Mujeeb Kazi A. 2014. Stripe rust resistance in *Triticum durum- T. monococcum* and *T. durum- T. urartu* amphiploids. Australasian Plant Pathology 43: 109-113.
4- Ali S., Shah S.A., and Ibrahim M. 2007. Assessment of wheat breeding lines for slow yellow rusting (*Puccinia striiformis* west. *tritici*). Pakistan Journal of Biological Sciences 19: 3440-3444.
5- Alo F., Al-Saaid W., Baum M., Alatwani H., and Amri A. 2018. Slow rusting of bread wheat landraces to *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* under artificial field inoculation. Arab Journal of Plant Protection 36(2): 164-175
6- Boyd L.A. 2005. Centenary review: Can Robigus defeat an old enemy? – Yellow rust of wheat. Journal of Agricultural Sciences 143: 1–11.
7- Bux H., Ashraf M., Chen X.M., and Mumtaz A.S. 2011. Effective genes for resistance to stripe rust and virulence of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in Pakistan. African Journal of Biotechnology 10(28): 5489-5495.
8- Bux H., Ashraf M., Hussain F., Rattu A.U., and Fayyaz M. 2012. Characterization of wheat germplasm for stripe rust (*Puccini striiformis* f. sp. *tritici*) resistance. Australian Jurnal of Crop Science 6(1): 116-120.
9- Chakravarty B. 2011. Trends in Mushroom cultivation and breeding. Australian Journal of Agricultural Engineering 2(4):102-109.
10- Chen X.M. 2005. Epidemiology and control of stripe rust on wheat [*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*] on wheat. Canadian Journal of Plant Pathology 27: 314-337.
11- Chen X.M. 2007. Challenges and solutions for stripe rust control in the United States. Australian Journal of Agricultural Research 58: 648–655.
12- Dadrezaie S. T., Lababidi S., Nazari K., Mohammadi E., Afshari F., Alo F., Shams-Bakhsh M., and Safaei N. 2013. Molecular genetic diversity in Iranian populations of *Puccinia triticina*, the causal agent of wheat leaf rust. American Journal of Plant Science 4: 1375-1386.
13- Flor H.H. 1942. Inheritance of pathogenicity in *Melampsora lini.* Phytopathology 32: 653–669.
14- Hei N., Shimelis H.A., Laing M., and Admassu B. 2015. Assessment of Ethiopian wheat lines for slow rusting resistance to stem rust of wheat caused by *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. Journal of Phytopathology 163: 353-363.
15- Herrera-Foessel S., AHerrera-Foessel S.A., Lagudah E. S., Huerta-Espino J., Hayden M.J., Bariana H. S., Singh D., and Singh R.P. 2011. New slow-rusting leaf rust and stripe rust resistance genes *Lr67* and *Yr46* in wheat are pleiotropic or closely linked. Theoretical and Applied Genetics 122: 239-49.
16- Jin Y., Szaboand L., and Carson M. 2010. Century-old mystery of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* life history solved with the identification of Berberis as an alternate host. Phytopathology 100: 432-435.
17- Kolmer J.A. 2005. Tracking wheat rust on a continental scale. Current Opinion in Plant Biology 8: 441-449.
18- Kumar S., Phogat B.S., Vikas V.K., Sharma A.K., Saharan M.S., Singh A.K., et al. 2019. Mining of Indian wheat germplasm collection for adult plant resistance to leaf rust. PLoS One 14(3): e0213468.
19- Line R.F. 2002. Stripe rust of wheat and barley in North America: a retrospective historical review. Annual Review of Phytopathology 40: 75–118.
20- Line R.F., and Qayoum A. 1992. Virulence, aggressiveness, evolution, and distribution of races of *Puccinia striiformis* (the cause of stripe rust of wheat) in North America, 1968-87. USDA-ARS, Technical Bulletin 1788: 44 pp.
21- Ma H., Singh R.P., and Kazi-Mujeeb A. 1995. Resistance to stripe rust in *Triticum turgidum, T. tauschii* and their synthetic hexaploids. Euphytica 82: 117–124.
22- Milus E.A., and Line R.F. 1986. Gene action for inheritance of durable, high– temperature, adult plant resistances to stripe rust in wheat. Phytopathology 76: 435-441.
23- Morgounov A., Tufan H.A., Sharma R., Akin B., Bagci A., Braun H.J., Kaya Y., Keser M., Payne T.S., Sonder K., and McIntosh R. 2012. Global incidence of wheat rusts and powdery mildew during 1969-2010 and durability of resistance of winter wheat variety Bezostaya 1. European Journal of Plant Pathology 132: 323-340.
24- Nazari K., Torabi M., Dehghan M.A., Aghnom R., Ahmadian-Moghaddam M.S., and Fallah H. 2000a. Pathogenicity of *Puccinia striiformis*, and reactions of improved cultivars and advanced lines of wheat to yellow rust in Northern provinces of Iran. Seed and Plant 16: 393-424. (In Persian with English abstract)
25- Nazari K., Torabi M., Hasni M.H., Kashani A., Hooshyar R., Mogaddam M.S.A. 2000b. Evaluation of resistance to yellow rust in advanced wheat lines suitable for dryland areas at seedling and adult-plant stages.Seed and Plant 16: 252-262. (In Persian with English abstract)

26- Ochoa J., and Parlevliet J.E. 2007. Effect of partial resistance to barley leaf rust, *Puccinia hordei*, on the yield three barley cultivars. Euphytica 153: 309-312.

27- Omrani A., Khodarahmi M., and Afshari F. 2013. Genetics study of resistance to yellow rust in CIMMYT origin wheat advanced lines at seedling and adult plant stages. Archives of Phytopathology and Plant Protection 46: 2341-2355.

28- Peterson R.F., Campbell A.B., and Hannah A.E. 1948. A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals. Canadian Journal of Research 26: 496-500.

29- Pritchard D.J., Hollington P.A., Davies W.P., Gorham J., Díaz De León J.L. and Mujeeb-Kazi A. 2001. Synthetic hexaploids wheats (2n = 6x = 42, AABBDD) and their salt tolerance potential. Annual Wheat Newsletters 47: 103–104.

30- Randhawa H., Puchalski B.J., Frick M., Goyal A., Despins T., Graf R.J., Laroche A., and Gaudet D.A. 2012. Stripe rust resistance among western Canadian spring wheat and triticale varieties. Canadian Journal of Plant Science 92(4):713-722.

31- Reynolds M.P., Skovmand B., Trethowan R., and Pfeiffer W. 1999. Evaluating a conceptual model for drought tolerance. In: Ribaut, J.M. (Ed.), Using Molecular Markers to Improve Drought tolerance. CIMMYT, Mexico, D.F.

32- Roelfs A.P., Singh R.P., and Saari E.E. 1992. Rust diseases of wheat: Concepts and Methods of Diseases Management. Mexico, D.F.CIMMYT.81.pp.

33- Safavi S.A. 2015. Effects of yellow rust on yield of race-specific and slow rusting resistant wheat genotypes. Journal of Crop Protection 4: 395-408.

34- Safavi S.A. 2018. Response of thirty barley cultivars to yellow rust and barley pathotypes in seedling and adult stages. Journal of Plant Protection 32(1):71-82. (In Persian with English abstract)

35- Safavi S.A. 2019. Effectiveness of resistance genes to stripe rust and virulence of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* during two years monitoring in Ardabil. Applied Researches in Plant Protection 8(3): 95-107. (In Persian with English abstract)

36- Safavi S.A., and Afshari F. 2017. A seven-year assessment of resistance durability to yellow rust in some wheat cultivars in Ardabil province, Iran. Journal of Crop Protection 6: 409-421.

37- Safavi S.A., Afshari F., and Yazdansepas A. 2013. Effective and ineffective resistance genes to wheat yellow rust during six years monitoring in Ardabil. Archives of Phytopathology and Plant Protection 46: 774-780.

38- Safavi S.A., and Afshari F. 2012. Quantitative resistance of some Elite wheat lines to *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, Archives of Phytopathology and Plant Protection 45: 740-749.

39- Sandoval-Islas J.S., Broers L.H.M., Mora-Aguilera G., Parlevliet J.E., Osada K.S. and Vivar H.E. 2007. Quatitative resistance and its components in 16 barley cultivars to yellow rust, *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*. Euphytica 153: 295-308.

40- Shah S.J.A., Hussain S., Ahmad M., Farhatullah M., and Ibrahim M. 2014. Characterization of Slow Rusting Resistance against Puccinia striiformis f. sp. tritici in Candidate and Released Bread Wheat Cultivars of Pakistan. Journal of Plant Pathology and Microbiology 5: 223.

41- Shah S.J.A., Imtiaz M., and Hussain S. 2010. Phenotypic and Molecular Characterization of Wheat for Slow Rusting Resistance against *Puccinia striiformis* Westend. f. sp. *tritici*. Journal of Phytopathology 158: 393-402.

42- Singh R.P. 1992. Association between gene *Lr34* for leaf rust resistance and leaf tip necrosis in wheat. Crop Science 32: 874-878.

43- Singh R.P., Huerta-Espino J., Bhavani S., Herrera-Foessel S.A., Singh D., Singh P.K., Velu G., Mason R.E., Jin Y., Njau P., and Crossa J. 2011. Race non-specific resistance to rust diseases in CIMMYT spring wheats. Euphytica 179: 175–186.

44- Singh R.P., Hodson D.P., Jin Y., Lagudah E. S., Ayliffe M.A., Bhavani S., Rouse M. N., Pretorius Z. A., Szabo L.J., Huerta-Espino J., Basnet B.R., Lan C., and Hovmøller M.S. 2015. Emergence and spread of new races of wheat stem rust fungus: Continued threat to food security and prospects of genetic control. Phytopathology 105: 872-84.

45- Singh R.P., Huerta-Espino J., and William H.M. 2005. Genetics and breeding for durable resistance to leaf and stripe rusts in wheat. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 29: 121-127.

46- Singh R.P., Nelson J.C., and Sorrells M.E. 2000. Mapping *Yr28* and other genes for resistance to stripe rust in wheat. Crop Sciences 40: 1148–1155.

47- Singh R.P., William H.M., Huerta-Espino J., and Rosewarne G. 2004. Wheat Rust in Asia: Meeting the challenges with old and new technologies. In: New directions for a diverse planet. Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia.

48- Stakman E.C., Stewart D.M., and Loegering W.Q. 1962. Identification of physiologic races of *Puccinia graminis* var. *tritici*. Washington, D.C., United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service 1-53.

49- Tariq-Khan M., and Irfan Ul-Haque M. 2011. Elite-II synthetic hexaploid wheats as a potential source of resistance against yellow rust. Archives of Phytopathology and Plant Protection 44: 1165-1170.

50- Torabi M., Mardoukhi V., Nazari K., Afshari F., Forootan A.R., Ramai M.A., Golzar H., and Kashani A.S. 1995. Effectiveness of wheat yellow rust resistance genes in different parts of Iran. Cereal Rusts and Powdery Mildews

Bulletin 23: 9-12.
51- Wellings C.R. 2011. Global status of stripe rust: a review of historical and current threats. Euphytica 179: 129-141.
52- Zahravi M., Afshari F., and Ebrahimnejad S. 2019. Study of genetic diversity of resistance to yellow rust in bread wheat germplasm. Modern Genetics Journal 14(3): 263-274.
53- Zeng Q.D., Han D.J., Wang Q.L., Yuan F.P., Wu J.H., Zhang L., Wang, X.J., Huang, L.L., Chen X.M. and Kang Z.S. 2014. Stripe rust resistance and genes in Chinese wheat cultivars and breeding lines. Euphytica 196: 271-284.
54- Ziyaev Z.M., Sharma R.C., Nazari K., Morgounov A.I., Amanov A.A., Ziyadullaev Z.F., Khalikulov Z.I., and Alikulov S.M. 2011. Improving wheat stripe rust resistance in Central Asia and the Caucasus. Euphytica 179(1): 197-207.

Journal of Plant Protection
Vol. 35, No. 2, Summer 2021, P. 169-183

نشریه حفاظت گیاهان (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، ص. ۱۸۳-۱۶۹

Characterization of Dry-Land Wheat Germplasm for Stripe Rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) Resistance in Ardabil

S.A. Safavi[1]*- F. Afshari [2]- M. Hasanpour-Hossni[3]
Received: 11-05-2020
Accepted: 05-05-2021

Introduction*:* Yellow (stripe) rust, caused by *P. striformis* f. sp. *tritici*, is one of the most important foliar diseases of wheat. The disease has been reported in temperate, cool, and higher altitudes regions, where wheat is grown. The widespread of the disease has always threatened wheat production and resulted in 30 to 100% losses in yield. Although chemical method is common throughout the world, it is not practical by farmers in developing countries. The most alternative practical way is to use genetic resistance which is economical and safely to environment. Two types of genetic resistance, including race-specific and non-race-specific resistance, are well known. Race-specific resistance operates based on the gene for gene hypothesis. Following the evolving of new races of pathogens, race-specific resistance becomes almost ineffective within 3–5 years. Non-race-specific resistance is controlled by small-effect (additive) genes and is long lasting. The wisely use of genetic resistance through the combination of race-specific and non-race-specific genes is suggested for the effective management of rusts. In view of the above, it is important to determine the properties of wheat germplasm for the detection of such diverse resistance. Therefore, the present study was performed to identify genetic sources with different resistance types to enhance the improvement of breeding operations for the release of cultivar in Iran.

Materials and Methods: In order to study of seedling reactions, a total of 191 dry land wheat lines were used. Seeds of each genotype (5-7 seeds) were planted in 7× 7 cm pots under controlled conditions in the greenhouses of Karaj. Seedlings were inoculated with two pathotypes of pathogen (6E158A$^+$ $_{and}$ 6E150A$^+$, Yr27). The inoculated Plants were transferred to a growth chamber at 10°C with 16 h of light and 8 h of darkness for 24 h. Plants were then transferred to greenhouses at 6–10°C temperature. 14-17 days later, seedling infection types were recorded based on a 0-4 scale (Stakman et al., 1962). The same number of studied lines at the seedling stage, were also used to evaluate the adult plant responses. The germplasm was cultivated at Ardebil Agricultural Research Station during the 2015-2016 cropping year. About eight grams seeds of each entry were planted in two-row plots of 1 m length with 30 cm distance. Plots were spaced at 65 cm. Infection types were recorded in the adult plant stage according to the method of Rolfs et al. Disease severity data were used to calculate the area under the disease progress curve (AUDPC). The relative area under the disease progress curve was also compared by comparing each line with the susceptible cultivar (assuming 100% susceptible cultivar value). In order to determine different resistance groups according to the method of Bux et al. (2012), lines with rAUDPC between 0-10 was considered as resistant group, rAUDPC = 11-30 as intermediate and lines with rAUDPC values above 30 were classified as susceptible.

Results and Discussion: Seedling evaluation using pathotype 6E158A$^+$ showed that of 63 resistant genotypes, 31 genotypes were from winter wheat, 4 from durum wheat and 28 genotypes of spring bread wheat. The seedling reactions using pathotype 6E150A$^+$, Yr27 indicated that of 64 resistant genotypes, 26 genotypes were of winter bread wheat, 8 genotypes of durum wheat and 30 genotypes of spring bread wheat. The results at seedling stage also revealed that 51 genotypes were resistant to both pathotypes, of which 24 were genotypes of winter bread, 4 genotypes of durum wheat and 23 genotypes of spring bread wheat. Of the 191 genotypes studied, 24 (12.5%) genotypes also showed resistance at both seedling (against to two pathotypes) and adult plant stages. In field conditions, 81 genotypes were susceptible and 110 (57.6%) were resistant. Among the resistant genotypes, the differences were observed based on the values of the relative area under the disease progress curve (rAUDPC). The response of winter wheat, spring wheat and durum wheat varied. Among the winter bread wheat, spring and durum wheat genotypes, 9 (12.5%), 38 (44.2%) and 4 (12.1%) genotypes had low levels of the area under the

1- Associate Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Ardabil, Iran
(*- Corresponding Author Email: Safaralisafavi@yahoo.com)
2- Professor, Department of Cereal Research, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran
3- Researcher, Department of Cereal Research, Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Maragheh, Iran
DOI: 10.22067/jpp.2021.32761.0

disease progress curve (rAUDPC = 0-10), respectively, and were classified as resistant group. A group of genotypes also had moderate values of the area under the disease progress curve (rAUDPC = 3-11), of which 16 (22.2%), 37 (43%) and 11 (33.3%) genotypes were of winter, spring, and durum wheat genotypes, respectively.

Conclusion: A number of genotypes having seedling resistance were identified with probability of resistance gene/genes; *Yr3v, Yr3a, Yr4a, Yr4, Yr5, Yr10, Yr15, Yr16, YrCV, YrSD,* or unknown genes. Most winter wheat genotypes lacked seedling resistance. Some of the genotypes had adult plant and slow rusting resistance (Non-race- specific or durable resistance) and this percentage was higher among spring bread wheat than winter wheat and durum wheat genotypes. This germplasm with various sources of resistance will be useful in integrating both types of resistance through the pyramiding of genes for durable resistance and eventually high-yielding resistant varieties will be introduced to farmers.

Keywords: Dryland wheat, Durable resistance, rAUDPC, Seedling resistance, Stripe rust